

ノイズソース法を用いた受信機雑音温度校正システムの開発

大阪府立大学 理学部 物理科学科
宇宙物理学研究室
尾上裕隆

1. 要旨

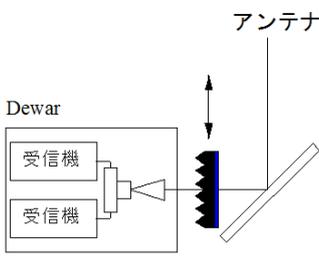
我々は、茨城 32m 鏡(日立局:高萩局)に搭載する 6.7-8GHz 帯、22GHz 帯受信機の開発を進めている。この望遠鏡に搭載された 6.7-8GHz 帯広帯域受信機に用いる、ノイズソース電力をフィードホーン根本の導波管部分から注入して受信機校正を行うシステムの開発について報告する。

2. イントロダクション

この望遠鏡のフィードホーン開口面は、受信機室上部のビーム伝送路に位置しており、開口径はビーム伝送路とほぼ等しい約 1.2m である。そのため、一般的に電波望遠鏡で用いられている標準黒体(電波吸収体)を用いた R-Sky 法システムの構築は、空間上の制約で難しい。

また、本受信機は初段に冷却増幅器を用いており、導波管結合器などを用いて増幅器直前に信号を注入するには、Dewar サイズや熱流入の増加で得策ではない。

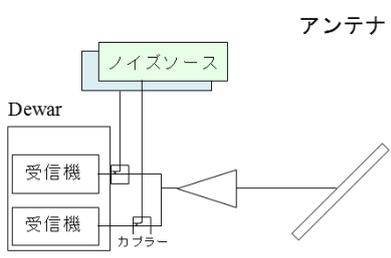
そこで、フィードホーン根元の常温円形導波管部分に小さい穴をあけ、そこから同軸アンテナでノイズソースの信号を挿入して受信機雑音温度の校正を行うシステムを開発した。このシステムでは、ビーム伝送系とノイズソース挿入アンテナとのカップリングを小さくし、システム雑音温度の上昇を抑えながら適正な強度のノイズ電力を注入できることが重要である。



ビーム伝送系に黒体を挿入する方法
(45m 鏡、1.85m 鏡、VERA など)

デメリット:センチ波ではビームが大きく、装置が大掛かりになる。

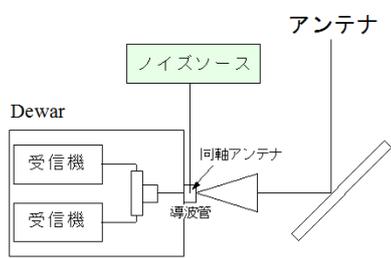
図 1 黒体を用いたシステム



カプラーを用いてノイズ源を挿入する方法
(山口 32m 鏡 6.7,8GHz 用など)

デメリット:常温導波管による損失があり、システム雑音が増加する。

図 2 導波管結合器を用いたシステム



同軸アンテナを用いて導波管部分にノイズ源を挿入する方法

メリット:コンパクトであり、ノイズソース温度の変更も可能。さらにシステムの直線性が確認できる。

図 3 今回開発したシステム

3. ノイズソース挿入方法

ノイズソースの信号は、フィードホーンとDewar間の円形導波管部分から、同軸アンテナ(心線を11mm露出)を挿入して、入力した。挿入位置は、円形導波管(φ34mm)に対して、アンテナの先が1.3mm程度である。このアンテナは挿入すぎるとRF信号と大きく結合してしまい(ブロッキング)、システム雑音温度を上昇させてしまう。そこで、システム雑音温度を測定しながら、寄与が1%以内に納まる位置を確認して決定した。

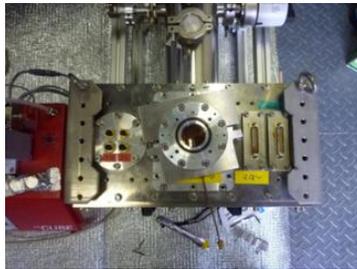
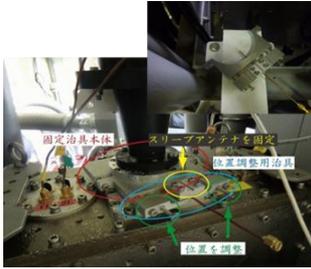


図4 ノイズソース挿入実験時の様子

4. ノイズソース挿入のシミュレーション結果

HFSS(電磁界解析ソフト)を用いたノイズソース挿入のシミュレーションを作った。同軸アンテナの位置は実験で決定した深さ1.3mmとして計算した。以下に解析モデルと計算結果を示す。その結果、6.7GHzにおいて約-27.5dB、8.4GHzで約-29.7dBを得た。使用したノイズソースのENRは26.5であり $T_{amb} = 300K$ と仮定すると、

$$T_{NS} = T_{amb} \left(10^{\frac{ENR}{10}} - 1 \right) \times 10^{\frac{C}{10}}$$

より、挿入雑音温度は約238K(6.7GHz)、約144K(8.4GHz)と予想される。

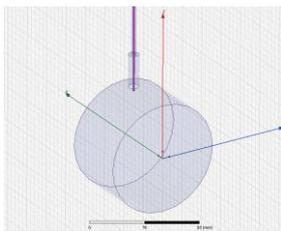


図5 HFSS解析モデル

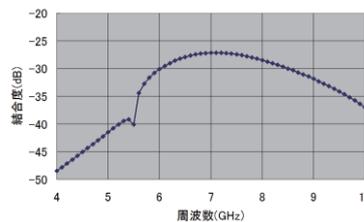


図6 HFSS解析結果

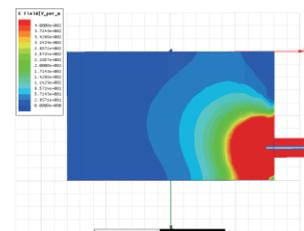


図7 伝搬の様子

5. ノイズソース法導入実験手順

ノイズソース法を用いた温度較正を行うためには、このノイズソース信号の等価温度を正確に算出する必要がある。そこで、以下の実験を行うことで、挿入するノイズソースの温度 T_{NS} を求めた。

- (1) 標準黒体をフィードホーンの上に設置し(R-Sky法)、仰角を変化させながら、一般的な方法で光学的厚さ(τ)の測定を行った。
- (2) 標準黒体とSkyの測定から各仰角ごとの T_{sys}^* の測定を行った。また、(1)の τ から T_{sys} を計算した。

$$T_{sys}^* = \frac{T_{amb}}{10^{\frac{P_R - P_{sky}}{10}} - 1} \quad T_{sys} = T_{sys}^* \times \exp(-\tau)$$

以上(1)(2)までは、ビーム伝送系に標準黒体を挿入する方法を用いた。

- (3) 仰角ごとにSkyとSky+ノイズソースの測定を行い、(2)の T_{sys} と比較することで T_{NS} と T_{sys} の値を算出した。

$$T_{sys} = \frac{T_{NS}}{10^{\frac{P_{sky+NS} - P_{sky}}{10}} - 1}$$

- (4) (3)の測定から、 τ の値を算出し、標準黒体を使用しないで τ が測定できることを確認した。

$$T_{sys} = T_{sys0} + T_{atm} \left\{ 1 - \exp(-\tau_0 \sec Z) \right\}$$

以上(3)(4)の測定の結果、ノイズソース源の基準雑音(T_{NS})を用いて、アンテナ性能を測定することが可能となった。

6. 結果

測定は 6.7GHz の左旋偏波、右旋偏波および 8GHz 左旋偏波、右旋偏波の 4 系統を同時に行なった。

		6.7GHz_LHC	6.7GHz_RHC	8GHz_LHC	8GHz_RHC
R を用いた τ_0	1 回目	0.0124	0.0129	0.0153	0.0160
	2 回目	0.0117	0.0123	0.0146	0.0152
	平均	0.0121	0.0126	0.0150	0.0156
T_{RX}	1 回目	20.47	20.72	21.59	16.59
	2 回目	21.94	21.95	23.14	18.44
	平均	21.21	21.34	22.37	17.52
T_{NS}	1 回目	246.21	268.56	138.60	134.33
	2 回目	249.65	272.17	140.90	136.98
	平均	247.93	270.37	139.75	135.66
T_{NS} を用いた τ_0	1 回目	0.0120	0.0127	0.0146	0.0156
	2 回目	0.0116	0.0122	0.0143	0.0152
	平均	0.0118	0.0125	0.0144	0.0154

表 1 ノイズソース法を用いた測定結果

○ T_{NS} の測定結果

6.7GHz では、左旋 248K、右旋 270K、8GHz では左旋 140K、右旋 136K の結果を得た。シミュレーションでは 238K (6.7GHz)、144K (8GHz) と計算されていたので、ほぼ想定通りの結果となった。ただ、左旋および右旋で T_{NS} の差がでた。それは、同軸アンテナの歪みなどが原因と考えられる。また、6.7GHz と 8GHz で T_{NS} の強度の差が偏波間で逆転してしまった。それに関しては原因が不明である。ただし、2 回だけだが、測定値は概ね再現したので、十分に観測に使用できると考えている。

7. アッテネータ(Att)に対する T_{NS} の線形性の測定

ノイズソース用 Att の値を変化させて P_{sky+NS} の値を読み取り、Att と T_{NS} との関係をもとめた(図)。図より、良好な精度で線形性が保たれていることがわかる。このことより、**Att を調整することで観測する天体の温度に合わせて較正に用いる T_{NS} の値を自由に操作できる**ことがわかった。

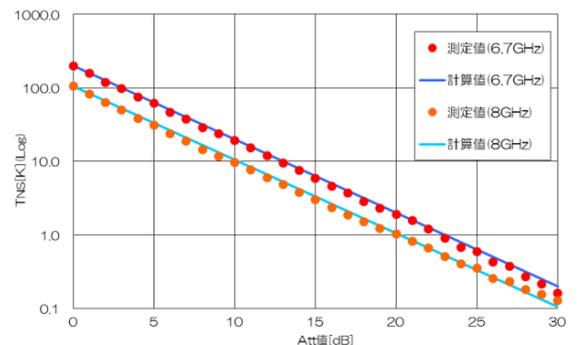


図 8 測定値の線形性の評価

8. まとめ

6GHz、8GHz でノイズソース法を用いた較正法は、従来のチョッパー・ホイール法と同等な精度であることを確認した。さらにこの方法は、減衰器を用いることで、直線性を容易に測定できるというメリットがある。

よって、準光学的にノイズソース信号を挿入する方法での受信機較正方法は、実用化可能だと考えられる。

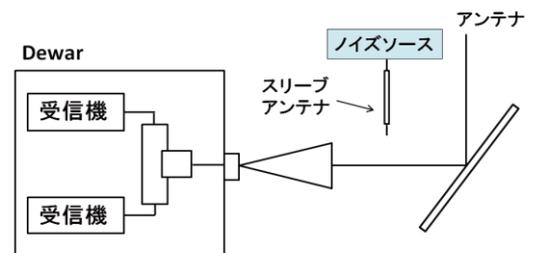


図 9 準光学的なノイズソースの挿入図